Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 19, No. 3, Fall. 2021, p. 233-248

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۹، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص. ۲۴۸-۲۳۳

مقاله پژوهشی

تأثیر تاریخ کاشت و میزان آب آبیاری بر خصوصیات رشدی و عملکرد گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovate* L.) در شرایط آب و هوایی سرخس

محمدرضا روستانژاد[1]، محمد بنایان اول[2]*، پرویز رضوانی مقدم[2]، غلامعلی گزانچیان[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۴

چکیده

به‌منظور بررسی تاثیر تاریخ کاشت و میزان آب آبیاری بر خصوصیات رشدی و عملکرد گیاه دارویی اسفرزه، آزمایشی در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در ایستگاه تحقیقاتی کشاورزی سرخس صورت گرفت. آزمایش به‌صورت کرت‌های نواری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. تیمارهای شامل چهار سطح آبیاری ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی در کرت‌های افقی و چهار تاریخ کاشت ۱۵ اسفند، ۱ فروردین، ۱۵ فروردین و ۳۰ فروردین در کرت‌های عمودی قرار گرفتند. نتایج شاخص‌های رشد نشان داد حداکثر شاخص سطح برگ (به‌ترتیب ۳/۴ و ۳/۳)، سرعت رشد محصول (۲۲/۱۲ و ۲۲/۱۸ گرم بر مترمربع در روز) و تجمع ماده خشک (۴۴۴/۹ و ۴۴۵/۴ گرم در مترمربع) در تیمار ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد. همچنین حداکثر شاخص سطح برگ (۲ و ۱/۸۶) در تاریخ‌های کاشت ۳۰ و ۱۵ فروردین، حداکثر سرعت رشد محصول (۱۴ و ۱۴ گرم بر مترمربع در روز) و تجمع ماده خشک (۲۷۰ و ۲۶۱/۳ گرم بر مترمربع) نیز در تیمارهای ۱ فروردین و ۱۵ اسفند به‌دست آمد. نتایج نشان داد بیشترین تعداد دانه در بوته (۱۲۱۰/۳۶ عدد)، عملکرد دانه (۱۸۹۱/۴ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد بیولوژیک (۵۶۰۷/۸ کیلوگرم در هکتار)، تعداد سنبله در بوته (۲۹/۶۷ عدد) و وزن هزاردانه (۲/۰۵ گرم) در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی و تاریخ کاشت ۱ فروردین حاصل شد. بیشترین شاخص برداشت (۳۶/۴ درصد) در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تاریخ کاشت ۱۵ اسفند به‌دست آمد. با توجه به نتایج حاصله، بهترین تاریخ کاشت و سطح آبیاری جهت نیل به حداکثر عملکرد و حفظ منابع آبی در منطقه سرخس به‌ترتیب ۱ فروردین و ۸۰ درصد نیاز آبی بود.

واژه‌های کلیدی: سرعت رشد محصول، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، نیاز آبی

مقدمه

استفاده از گیاهان دارویی جهت درمان بیماری‌ها با تاریخ زندگی انسان هم‌زمان می‌باشد. شواهد نشان می‌دهد که ایرانیان، مصریان و یونانیان در شمار اولین جمعیت‌های بشری بوده‌اند که از گیاهان برای درمان استفاده می‌کرده‌اند. با گذشت زمان، بشر با انجام تحقیقات گسترده به‌ویژه از ابتدای قرن بیستم توانست تعداد زیادی مواد موثر دارویی را استخراج نماید و در درمان بیماری‌های مختلف استفاده کند (Naderi and Mahmoudi, 2017). به همین جهت امروزه صنایع داروسازی، کشاورزی و گروه‌های تحقیقاتی بسیاری از کشورها توجه خود را به منابع طبیعی و گیاهان دارویی معطوف نموده‌اند، به طوری که در سال‌های اخیر مزارع وسیع آزمایشی و تولیدی گیاهان دارویی گسترش یافته است (Naderi and Mahmoudi, 2017).

اسفرزه (*Plantago ovate*) از خانواده Plantaginaceae و گیاه دارویی است که امروزه استفاده از آن در زمینه صنعت و پزشکی توسعه یافته است و پوسته غشایی سفیدرنگ بذر آن دارای ترکیب دارویی می‌باشد و خاصیت مسهل و نرم‌کنندگی داشته و در تنظیم اعمال گوارشی مفید است (Mousapour *et al.*, 2017).

رشد و نمو مناسب گیاهان دارویی در شرایط زراعی، مستلزم آگاهی از خصوصیات اکولوژیک این گیاهان، مطالعه و بررسی دقیق تکنیک‌های کاشت و به‌کارگیری نهاده‌های کشاورزی به‌ویژه آبیاری، انواع کود، زمان مناسب کاشت و برداشت و مدیریت آن‌ها می‌باشد، چرا که این‌گونه عوامل میزان متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند (Yazdan Panah, 2015).

کم آبی امروزه یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده ازدیاد محصولات در نواحی خشک و نیمه خشک است و کاهش رشد در اثر تنش خشکی به مراتب بیشتر از سایر تنش‌های محیطی دیگر می‌باشد (Rodriguez, 2006). بخش اعظم کشور ایران را مناطق خشک و

۱- دانشجوی دکترای گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی
(*- نویسنده مسئول: Email: banayan@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/jcesc.2021.67257.0

نیمه خشک تشکیل می‌دهد. کمبود منابع آبی به‌عنوان بزرگ‌ترین چالش در تولید محصولات زراعی خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا از جمله ایران می‌باشد (Koocheki *et al*., 2011). نظر به این‌که ایران در منطقه خشک و نیمه خشک قرار دارد و وجود بحران آب در این مناطق جدی است، انتخاب گیاهان سازگار به این شرایط از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که لازمه آن کاشت گیاهان مقاوم به خشکی و دارای نیاز آبی کم می‌باشد (Koocheki *et al*., 2011). به‌کارگیری گیاهانی با خصوصیات مقاوم به خشکی و نیاز آبی کم همانند اسفرزه گویای مدیریت زراعی موفق به منظور استفاده بهینه از این مناطق در اقلیم‌های خشک می‌باشد (Weryszko-Chmielewska *et al*., 2012). همچنین گزارش باساک (Basak, 2017) حاکی از مقاومت اسفرزه به تنش رطوبتی و شوری می‌باشد. رومانی و همکاران (Roumani *et al*., 2020) بیان داشتند که قطع آبیاری در زمان گلدهی اسفرزه سبب کاهش بیوماس آن به میزان ۴۳ درصد گردید. به علاوه آن‌ها گزارش کردند عملکرد دانه اسفرزه در شرایط آبیاری کامل در طول دوره رشد معادل ۹۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین پوریوسف و همکاران (Pouryousef *et al*., 2014) بیان داشتند کشت اسفرزه با کاربرد مناسب کود دامی تحت رژیم کم آبیاری ملایم به دلیل تولید عملکرد دانه و موسیلاژ مناسب و همچنین صرفه‌جویی در آب آبیاری، از موفقیت مناسبی برخوردار می‌باشد.

تخفیف و سازگاری دو روش شناخته شده برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم می‌باشند. استراتژی‌های تخفیف به کاهش انتشارگازهای گلخانه‌ای از طریق فعالیت‌های مدیریتی مختلف برمی‌گردد (Ogle *et al*., 2014). منظور از سازگاری استراتژی‌هایی است که رشد و نمو گیاه طوری تنظیم شود که کمتر در معرض تغییرات اقلیمی قرار گیرد (Ogle *et al*., 2014). راهکارهای سازگاری بسته به سیستم کشاورزی، منطقه و سناریوهای تغییر اقلیمی متفاوت می‌باشد. از جمله این استراتژی‌ها می‌توان به تغییر تاریخ کاشت، تراکم کاشت، استفاده از ارقام مقاوم به شرایط گرم‌تر، تغییر در تناوب کاشت، مدیریت آبیاری و غیره اشاره کرد (Bindi and Olesen, 2011).

تصمیم‌گیری در مورد زمان کاشت مطلوب یک گیاه زراعی بسیار با اهمیت است و از عوامل مهم جهت رسیدن به حداکثر عملکرد بالقوه در گیاهان می‌باشد. بنابراین انتخاب تاریخ کاشت مناسب به علت ضرورت استفاده حداکثر از منابع طبیعی طی فصل رشد دارای اهمیت زیادی است (Heldwein *et al*., 2014). به‌طور کلی تأخیر در کاشت، مراحل نموی تعیین‌کننده اجزای عملکرد را ممکن است در معرض عوامل نامساعد محیطی قرار داده و قابلیت تولید اقتصادی گیاه را کاهش دهد (Heldwein *et al*., 2014). نتایج یک پژوهش بر روی گیاه اسفرزه نشان داد که اثر آبیاری بر ارتفاع گیاه، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، طول سنبله، بیوماس، عملکرد کاه و کلش و عملکرد دانه در اسفرزه معنی‌دار بوده، ولی وزن هزار دانه تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرار نگرفت (Lotfi *et al*., 2009). همچنین گزارش شده است که بین تعداد دفعات آبیاری (۲، ۳ و ۵ نوبت) در گیاه اسفرزه از نظر عملکرد تفاوتی وجود نداشت (English and James, 1990). عملکرد کاه و کلش بذر اسفرزه با افزایش تعداد آبیاری‌ها به‌ترتیب تا ۴ و ۵ نوبت آبیاری افزایش یافت (Ganpat *et al*., 1992). بهزادی و همکاران (Behzadi *et al*., 2015) به بررسی مناسب‌ترین تاریخ کاشت گیاه دارویی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa*) جهت استفاده در فضای سبز شهری، شهر کرمان در سه تاریخ ۲۰ فروردین، ۱۰ و ۳۰ اردیبهشت پرداختند. نتایج نشان‌دهنده‌ی تأثیر معنی‌دار تاریخ کاشت بر شادابی، زمان گلدهی، تعداد شاخه و تعداد غوزه و عدم تأثیر بر ارتفاع بوته و تاج پوشش بود. ثقه الاسلامی و همکاران (Seghatoleslami *et al*., 2013) تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت را در سه سطح (۲۰ اردیبهشت، ۱۰ خرداد و ۳۰ خرداد) بر عملکرد چای ترش مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تاریخ کاشت بر تعداد گل، وزن تر و خشک گیاه، عملکرد زیست‌توده تأثیر معنی‌داری داشته و بیشترین میزان این صفات مربوط به تیمار ۲۰ اردیبهشت بود. همچنین طی آزمایشی که موسی‌پور و همکاران (Mosapour *et al*., 2015) روی اثر زمان کاشت در تاریخ ۲۰ دی تا ۲۰ بهمن بر عملکرد گیاهان اسفرزه و زنیان (*Carum copticum* L.) در شرایط مخلوط داشتند گزارش کردند بیشترین عملکرد دانه (۵۳۹ کیلوگرم در هکتار) در تاریخ کاشت ۲۰ دی ماه به‌دست آمد.

با توجه به نبود آب کافی در نقاط مختلف و خشک جهان از جمله ایران، پژوهش‌گران همواره به دنبال راهکارهای متعددی برای کاهش میزان آسیب سلولی ناشی از تنش غیر زنده و افزایش تحمل به آن‌ها و همچنین دستیابی به عملکرد مطلوب هستند. در این بین، به نظر می‌رسد استفاده از تاریخ کاشت مناسب بتواند به‌طور مؤثری اثرات مخرب تنش خشکی را کاهش دهد. لذا در این راستا پژوهشی به منظور بررسی تأثیر تاریخ کاشت و میزان آبیاری بر صفات عملکردی گیاه دارویی اسفرزه در سرخس انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در شهرستان سرخس در ایستگاه تحقیقاتی کشاورزی واقع در ۵ کیلومتری جنوب شهر سرخس با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۳ دقیقه‌ی شمالی و طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه‌ی شرقی و ارتفاع ۴۲۰ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی و حداکثر و حداقل دمای سالانه‌ی این شهر به‌ترتیب ۱۸۰ میلی‌متر، ۳۸ و ۱۰- درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد (Khorasan

(Weather and Climatology Center, 2017). آزمایش به‌صورت کرت‌های نواری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. تیمارهای آبیاری در چهار سطح ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی (Koocheki *et al.*, 2011) در کرت‌های افقی و چهار تاریخ کاشت ۱۵ اسفند ۱۳۹۴، ۱ فروردین ۱۳۹۵، ۱۵ فروردین ۱۳۹۵ و ۳۰ فروردین ۱۳۹۵ در کرت‌های عمودی قرار گرفتند (Asgharipour and Rezvani Moghadam, 2006). از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک محل اجرای آزمایش قبل از اجرای طرح به‌طور تصادفی نمونه‌برداری شد و برخی از خصوصیات آن مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Chemical and physical characteristics of soil for experimental site

OC (%)	EC ($dS.m^{-1}$)	pH	پتاسیم Potassium (ppm)	فسفر Phosphorous (ppm)	نیتروژن قابل دسترس Available nitrogen (%)	بافت خاک Soil texture
0.5	3.9	7.62	142.2	9.9	0.42	شنی لومی Sandy loam

زمین در سال قبل آیش بود و عملیات آماده‌سازی بستر کاشت در اواسط بهمن ماه ۱۳۹۴ با انجام عملیات شخم و دو دیسک عمود بر هم پس از گاورو شدن به‌منظور خرد کردن کلوخه‌ها انجام گرفت. بذر مورد استفاده از توده‌های بومی شهرستان مشهد بود که از مزرعه دانشگاه فردوسی مشهد تهیه گردید. بذرها قبل از کاشت با قارچ‌کش کاربوکسی تیرام دو در هزار ضدعفونی و برای تسهیل در کاشت و سبز شدن با ماسه بادی مخلوط و در هر تاریخ کاشت به‌صورت خشکه‌کاری و خطی و با دست در شیارهایی با عمق بسیار کم ۰/۵ سانتی‌متری خاک با دقت و با تراکم بالا کشت شدند. هر کرت به ابعاد ۲/۴ × ۲ متر شامل هشت ردیف کاشت (چهار پشته به فاصله ۲۵ سانتی‌متر) بود. فاصله بین کرت‌ها ۶۰ سانتی‌متر و بین تکرارها دو متر در نظر گرفته شد. کودهای مورد استفاده شامل ۵۴ کیلوگرم در هکتار کود اوره (۴۶ درصد ازت خالص) و ۵۴ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل (۴۶ درصد P_2O_5) بودند که به‌صورت دستپاش و کاملاً یکنواخت پخش شده و سپس با استفاده از دیسک کاملاً با خاک مخلوط شدند.

بوته‌ها در مرحله ظهور چهار برگی با فاصله بوته‌های روی ردیف ۲ تا ۳ سانتی‌متر تنک شدند (۱۳۰ بوته در متر مربع) (Rahimi *et al.*, 2010). همچنین سیستم آبیاری به صورت فارو تحت فشار با کنتور حجمی با دقت ۰/۰۰۰۱ متر مکعب و مستقل برای هر کدام از تیمارها بود. آبیاری هر هفت روز یکبار انجام شد. اعمال تیمار آبیاری در زمان استقرار کامل گیاهچه‌ها و در مرحله ۳-۴ برگی صورت گرفت و تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک ادامه یافت. میزان آب آبیاری در هر نوبت آبیاری، توسط نرم‌افزار AGWAT محاسبه شد (Alizadeh and Kamali, 2007). به طوری‌که در هر نوبت آبیاری برای تیمارهای ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد به‌ترتیب میزان ۱۳۷۱، ۱۰۲۸، ۶۸۵ و ۳۴۲ متر مکعب آب در هر تیمار مورد استفاده قرار گرفت.

شاخص‌های اندازه‌گیری شده در طول دوره رشد شامل شاخص سطح برگ (توسط دستگاه Leaf area meter, Li-Cor, Li- 1300, USA)، سرعت رشد محصول و تجمع ماده خشک بود. جهت اندازه‌گیری این شاخص‌ها، نمونه‌برداری در طول دوره رشد و با فاصله هر ۱۴ روز یک بار به روش تخریبی و برداشت از سطح زمین انجام گرفت. نمونه‌برداری‌های گیاهی از مرحله‌ی چهار برگی و پس از تنک کردن مزرعه آغاز شد. همچنین شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول نیز از طریق رابطه‌های (۱) و (۲) به‌دست آمد.

(۱) شاخص سطح برگ: LAI=LA/GA

(LA: سطح برگ و GA: سطح زمین) (Koocheki and Sarmadneya, 2014)

(۲) سرعت رشد محصول (گرم بر متر مربع در روز): CGR=W2-W1/T2-T1 (W2-W1= تغییرات وزن خشک و T2-T1= فاصله زمانی نمونه‌برداری) (Koocheki and Sarmadneya, 2014).

به‌دلیل اعمال تیمارهای آبیاری و تاریخ کاشت، پر شدن دانه‌ها در همه کرت‌ها به‌صورت یکنواخت نبوده و به همین جهت آبیاری آخر را نمی‌توان تنها به دوره خاص از مراحل فیزیولوژیکی گیاه نسبت داد لذا برداشت آخر فصل گیاهان براساس مشاهده علائم ظاهری رسیدگی شامل: زردی و خشک شدن برگ‌ها، قهوه‌ای شدن سنبله‌ها و صورتی رنگ شدن بذر در سنبله‌ها بود که با توجه به تاریخ کاشت متفاوت تاریخ‌های برداشت در چهار زمان انجام گرفت که شامل ۱۰ خرداد، ۲۰ خرداد، ۵ تیر و ۲۵ تیر بود. نمونه‌برداری انتهای فصل رشد پس از حذف اثر حاشیه‌ای، در سطح یک متر مربع از هر کرت آزمایشی صورت گرفت. صفاتی که اندازه‌گیری شدند شامل: ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته، طول سنبله، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد کاه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بود.

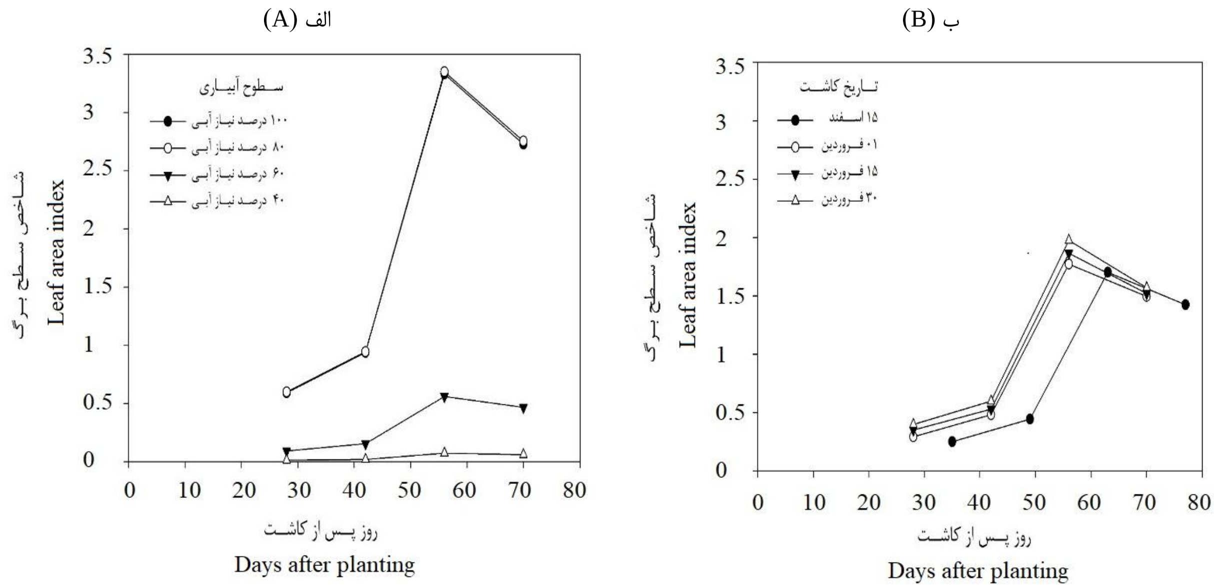
تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه

میانگین‌های هر صفت با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. جهت ترسیم شکل‌ها نیز از نرم‌افزار Sigma plot 12.3 استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

اثرات ساده تاریخ کاشت و سطوح آبیاری بر روی شاخص سطح برگ معنی‌دار بود ولی اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود. روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) گیاه اسفرزه در سرخس تحت تأثیر سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی مشابه بود (شکل ۱ الف). پس از استقرار مناسب گیاه، در ۲۸ تا ۴۲ روز پس از کاشت به‌تدریج با افزایش برگ‌ها، شاخص سطح برگ با سرعت بیشتری گسترش یافت و در بازه ۴۲ تا ۵۶ روز پس از کاشت، حداکثر شاخص سطح برگ حاصل گردید و سپس تا انتهای فصل رشد در تمامی تیمارهای آزمایش به‌علت زرد شدن، پیری و ریزش برگ‌ها و نزدیک‌شدن به مرحله رسیدگی، روندی کاهشی در شاخص سطح برگ مشاهده شد. حداکثر شاخص سطح برگ در ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی (به‌ترتیب ۳/۴ و ۳/۳) مشابه هم بود (شکل ۱ الف). تاکور و همکاران (Thakur *et al.*, 2012) نیز گزارش کردند که شاخص سطح برگ اسفرزه تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت و بیشترین شاخص سطح برگ در شرایط شاهد (۱/۰۶) و کمترین آن در تنش خشکی قبل از گلدهی (۰/۵۴) ثبت شد. همچنین روند تغییرات شاخص سطح برگ اسفرزه تحت تأثیر تاریخ کاشت در تمامی تاریخ‌های کاشت مشابه بود (شکل ۱ ب). تغییرات شاخص سطح برگ در مراحل اولیه رشد (۲۸ تا ۴۲ روز پس از کاشت) کند و بطئی بود و سپس در ۴۲ تا ۵۶ روز پس از کاشت به حداکثر شاخص سطح برگ خود رسید. در ادامه با کاهش برگ‌ها به علت ریزش برگ‌ها، زرد شدن و پیری شدن آن‌ها، شاخص سطح برگ کاهش یافت. حداکثر شاخص سطح برگ در تاریخ ۳۰ فروردین (۲) به‌دست آمد. در آزمایش دسای و همکاران (Desai *et al.*, 2018) مشخص شد که با تأخیر در کاشت و همینطور کاشت زود هنگام میزان شاخص سطح برگ در پنج واریته نعنا (*Mentha* L.) کاهش یافت.



شکل ۱- تغییرات شاخص سطح برگ اسفرزه تحت تأثیر سطوح آبیاری (الف) و تاریخ کاشت (ب)

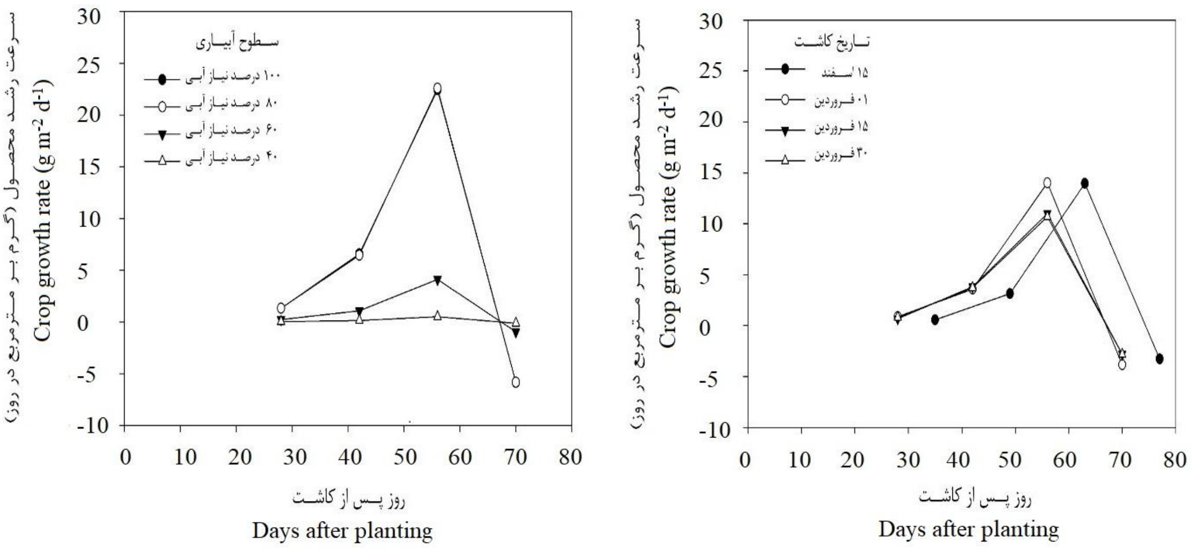
Figure 1- Effect of irrigation levels (a) and planting dates (b) on the trend of changes in isabgol leaf area index

سرعت رشد محصول

اثرات ساده تاریخ کاشت و سطوح آبیاری بر روی سرعت رشد محصول معنی‌دار بود ولی اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود. در اوایل دوره رشد در تمامی سطوح آبیاری و تاریخ‌های کاشت، به‌دلیل کوچک بودن جثه گیاه و پایین بودن درصد جذب تشعشع، گیاه اسفرزه از سرعت رشد کمتری برخوردار بود (شکل ۲ الف و ب). سپس احتمالاً به‌دلیل استقرار مناسب گیاه در خاک و افزایش تدریجی جذب تشعشع خورشیدی، با افزایش سطح برگ و افزایش تجمع ماده خشک سرعت رشد محصول روند صعودی پیدا کرد. بررسی سرعت رشد محصول

(CGR) حاکی از روندی تقریباً مشابه بین ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی بود، بدین صورت که سرعت رشد محصول در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. در واقع در اوایل دوره رشد احتمالاً به‌دلیل دمای پایین هوا و کم‌بودن درصد جذب تشعشع خورشیدی گیاه اسفرزه از سرعت رشد کمتری برخوردار بود. سپس به‌دلیل افزایش تدریجی جذب تشعشع خورشیدی هم‌زمان با افزایش سطح برگ و افزایش تجمع ماده خشک در گیاه سرعت رشد محصول روند صعودی پیدا کرد، در ادامه با پیرشدن و زردشدن برگ‌ها و به تبع آن کاهش سطح برگ، سرعت رشد محصول کاهش یافت. مقایسه تیمارهای سطوح آبیاری نیز نشان داد که سرعت رشد محصول در ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی (به‌ترتیب حداکثر ۲۲/۱۲ و ۲۲/۱۸ گرم در مترمربع در روز) کمتر از سرعت رشد محصول در ۶۰ درصد نیاز آبی (حداکثر ۴/۰۶ گرم در مترمربع در روز) و ۴۰ درصد نیاز آبی (حداکثر ۰/۴۹ گرم در مترمربع در روز) بود که به نظر می‌رسد با توجه به محدودیت منابع، گیاه زمان کمتری را برای رسیدن به رشد مورد نظر طی خواهد کرد (شکل ۲ الف). به‌نظر می‌رسد با افزایش سطح برگ در ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی، نور بیشتری توسط گیاه دریافت می‌شود که به‌علت فتوسنتز بیشتر، سرعت رشد گیاه نیز افزایش می‌یابد.

ب (B) الف (A)



شکل ۲- تغییرات سرعت رشد محصول اسفرزه تحت تأثیر سطوح آبیاری (الف) و تاریخ کاشت (ب)

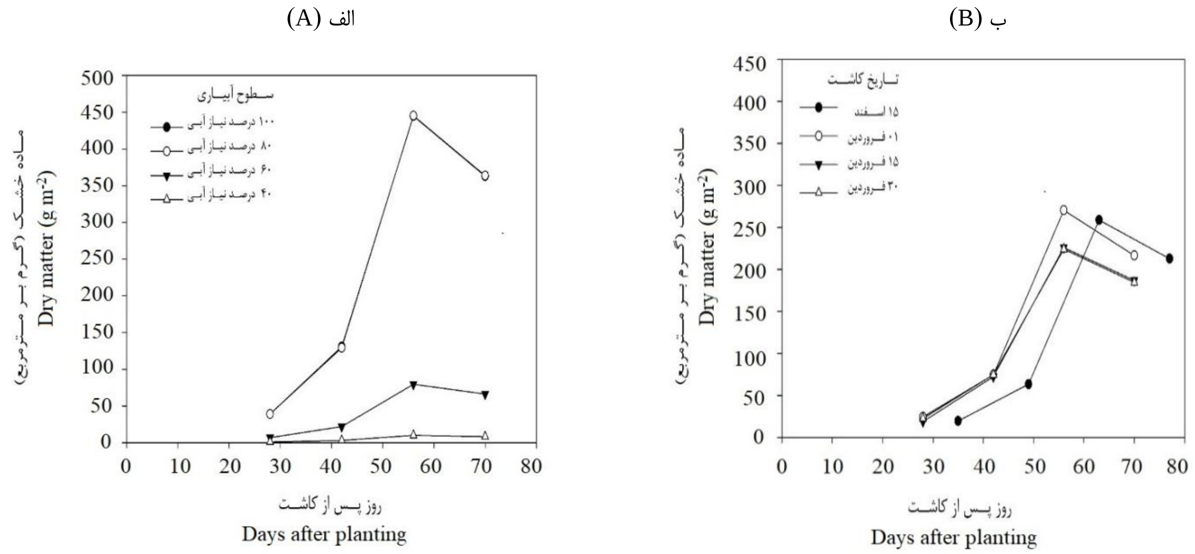
Figure 2- Effect of irrigation levels (a) and planting dates (b) on the trend of changes in isabgol crop growth rate

روند تغییرات سرعت رشد محصول تحت تأثیر تاریخ کاشت در تمامی تاریخ‌های کاشت نیز مشابه بود (شکل ۲ ب). همان‌طور که گفته شد سرعت رشد اسفرزه در در مراحل اولیه رشد (۲۸ تا ۴۲ روز پس از کاشت)، احتمالاً در تمامی تیمارهای تاریخ کاشت، به‌دلیل کوچک بودن جثه گیاه و پایین‌بودن درصد جذب تشعشع، کند و بطئی بود و در نتیجه افزایش تدریجی جذب تشعشع خورشیدی، افزایش سطح برگ و افزایش تجمع ماده خشک، سرعت رشد محصول نیز افزایش یافت. روند کاهشی سرعت رشد محصول در مراحل انتهایی رشد در تمام تاریخ‌های کاشت احتمالاً به علت توقف رشد، کاهش ماده خشک به علت افزایش انتقال مجدد از اندام رویشی به زایشی و ریزش و پیرشدن برگ‌ها بود. حداکثر سرعت رشد محصول در تاریخ ۱۵ اسفند و ۱ فروردین (به‌ترتیب ۱۴ و ۱۴ گرم در مترمربع در روز) به‌دست آمد. که اختلاف قابل‌توجهی با سایر تاریخ‌های کاشت نداشت (شکل ۲ ب). سیلوا و همکاران (Silva *et al.*, 2018) گزارش دادند که میزان CGR در ابتدای دوره رشد که میزان توسعه برگ و پوشش کانوپی و در نتیجه تولید مواد فتوسنتزی در حداقل است، پایین است. اما با انتخاب تاریخ کاشت مناسب و افزایش دوره رشد گیاه چیا (*Salvia hispanica*) به مرور این شاخص افزایش یافت. این محققان اظهار داشتند که تأثیر تاریخ کاشت بعد از گلدهی به میزان بیشتری گیاه را تحت تأثیر قرار داد.

تجمع ماده خشک

اثرات ساده تاریخ کاشت و سطوح آبیاری بر روی تجمع ماده خشک معنی‌دار بود ولی اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود. بررسی سطوح آبیاری حاکی از آن است که روند تغییرات ماده خشک در شرایط عدم تنش آب (۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی) مشابه هم بود (شکل ۳ الف).

اگرچه گیاه در مراحل اولیه، رشد کندی داشته و افـزایش وزن خشـک در این دوره نسبت به زمان، ناچیز است. اما در شرایط تنش آب رشـد گیاه (تولید کمتر برگ) بسیار کند و در مواردی ماننـد ۴۰ درصـد نیـاز آبی ناچیز بود. در ادامه، تنش آب منجر به کـاهش رشـد خطـی گیـاه نسبت به شرایط عدم تنش به دلیل افزایش کمتر تجمع مـاده خشـک در برگ‌ها و ساقه‌ها شد. در مرحله سوم به‌دلیل پیری و کاهش سـطح برگ، روند تجمع ماده خشک در شرایط عدم تنش آب کند شد، اما باز هم از شرایط تجمع ماده خشک در مرحلـه دوم در شـرایط تـنش آب بیشتر بود. مقایسه تیمارهای سطوح آبیاری نیز نشان داد کـه حـداکثر تجمع ماده خشک در ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبـی (بـه‌ترتیـب ۴۴۴/۹ و ۴۴۵/۴ گرم در مترمربع) بـود (شـکل ۳ الـف). در آزمـایش رحیمـی و همکاران (Rahimi *et al*., 2013) نیز مشخص شد کـه بـا افـزایش شدت تنش خشکی در ۴۰٪ نیاز آبی میزان رشد اندام هـوایی در گیـاه اسفرزه به شدت کاهش یافت.



شکل ۳- تغییرات ماده خشک اسفرزه تحت تأثیر سطوح آبیاری (الف) و تاریخ کاشت (ب)

Figure 3- Effect of irrigation levels (a) and planting dates (b) on the trend of changes in isabgol dry matter

در تاریخ‌های کاشت زودتر احتمالاً به‌دلیل مسـاعد بـودن شـرایط آب و هوایی برای استقرار مناسب گیاه و اسـتفاده حـداکثر طـول دوره رشد ماده خشک بیشتری در اندام‌های هوایی گیاه تجمع یافـت. بـه-عبارت دیگر با تأخیر در زمـان کاشـت، حـداکثر تجمـع مـاده خشـک کاهش یافت. در مرحله سوم، با شروع رسیدگی بذر، ضریب تخصیص ماده خشک به برگ‌ها و ساقه کاهش یافت. در این مرحله رشد سـاقه و برگ‌ها به‌شدت کاهش پیدا کـرد. عامـل اصـلی تفـاوت در تولیـد و تجمع ماده خشک در گیاهان، تفاوت در سطح بـرگ از لحـاظ انـدازه برگ و میزان و سرعت ظهور برگ‌های جدید مـی‌باشـد (Akbari *et al*., 2017). در آزمایش سیلوا و همکاران (Silva *et al*., 2018) نیـز تأخیر در دوره کاشت و مواجه شدن با سرمای پیش‌بینی شده منجر به کاهش میزان ماده خشک چیا (*Salvia hispanica* L.) گردید.

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد کـه اثـر اصـلی سـطوح آبیاری، تاریخ کاشت و برهمکنش آبیاری و تاریخ کاشت بر ارتفاع بوته در سطح آماری یک درصد (p<۰/۰۱) معنی‌دار بود (جـدول ۳). نتـایج نشان داد بیشترین ارتفـاع بوتـه از بـرهمکنش ۱۰۰ درصـد آبیـاری و تاریخ کاشت ۱ فروردین (۲۴/۵۷ سانتی‌متر) به‌دسـت آمـد. همچنـین کمترین ارتفاع بوته نیز از برهمکنش ۴۰ درصد آبیاری و تاریخ کاشت ۳۰ و ۱۵ فروردین (به‌ترتیـب ۵/۰۵ و ۵/۳۵ سـانتی‌متـر) حاصـل شـد (جدول ۴).

ارتفاع بوته مانند هر اندام دیگر رویشی یـا زایشـی شـدیداً تحـت تأثیر عناصر غذایی و آب قرار می‌گیرد. دسترسی گیاه به آب و عناصـر غذایی کافی، از طریق تأثیر بر روی تقسیم و بزرگ شدن سلول‌هـا در افزایش ارتفـاع بوتـه بسـیار مـؤثر مـی‌باشـد (Pouryousef *et al*., 2010). رمـــرودی و همکـــاران (Ramroodi *et al*., 2011) در مطالعه‌ای بر میـزان تأثیرپـذیری عملکـرد کمـی و کیفـی اسـفرزه از رژیم‌های آبیاری اظهار داشتند که اگرچه تأثیر رژیم آبیاری بـر ارتفـاع بوته اسفرزه، طول سنبله و تعداد پنجه در بوته معنی‌دار نبـود، ولـی بـا کاهش تعداد آبیاری، به‌تدریج از ارتفاع بوته کاسته شد، بـه‌طـوری‌کـه آبیاری کامل بیشترین ارتفاع بوته و قطـع یـک نوبـت آبیـاری بعـد از گلدهی، کمترین آن را در بین رژیم‌های آبیاری دارا بودند.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر آبیاری و تاریخ کاشت بر ارتفاع بوته و اجزای عملکرد اسفرزه

Table 3- Analysis of variance of irrigation effect and planting date on plant height and yield components of isabgol

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean Square							
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد سنبله در بوته Number of spike per plant	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	وزن هزار دانه 1000 seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	کارایی مصرف آب WUE
بلوک Block	2	0.3^{ns}	1.39^{ns}	562.04^{ns}	0.004^{ns}	3316.45^{ns}	51872.0^{ns}	0.19^{ns}	0.016ns
آبیاری Irrigation	3	664.44^{**}	1922.9^{**}	3287142.4^{**}	0.238^{**}	708431.1^{**}	55460521.1^{**}	1106.9^{**}	4.23**
تکرار × آبیاری Repetition× Irrigation	6	0.07^{ns}	0.42^{ns}	325.52^{ns}	0.003^{ns}	2109.6^{ns}	24542.1^{ns}	0.96^{ns}	0.009ns
تاریخ کاشت Planting date	3	19.48^{**}	69.79^{**}	176957.6^{**}	0.059^{**}	729980.4^{**}	6885508.8^{**}	106.46^{**}	0.88**
تکرار × تاریخ کشت Repetition× Planting date	6	0.16^{ns}	2.34^{ns}	4239.97^{ns}	0.007^{ns}	3176.26^{ns}	41174.4^{ns}	2.86^{ns}	0.014ns
آبیاری × تاریخ کاشت Irrigation × Planting date	9	27.05^{**}	8.26^{**}	18177.84^{**}	0.006^{**}	78643.3^{**}	709554.3^{**}	141.59^{**}	0.025ns
اشتباه Error	18	0.10	0.78	1128.37	0.003	1361.46	10574.0	1.73	0.015
کل Corrected total	47								
ضریب تغییرات C.V (%)	-	1.8	6.5	6.2	2.7	4.5	4.3	4.4	16.1

ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار، * و ** به‌ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪

ns, *, **: non-significant, significant at p = 0.05 and p = 0.01, respectively

جدول ٤- اثر متقابل آبیاری و تاریخ کاشت بر ارتفاع بوته و اجزای عملکرد اسفرزه

Table 4- Interaction of irrigation and planting date on plant height and yield components of isabgol

سطوح آبیاری Irrigation levels	تاریخ کاشت Planting date	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد سنبله در بوته Number of spike per plant	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	وزن هزار دانه 1000 seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)
۱۰۰ درصد نیاز آبیاری Irrigation requirement 100%	۱۵ اسفند March 5	23.48^{b}	26^{c}	1067.03^{c}	1.94^{bcd}	1749.5^{c}	4794.3^{b}	36.49^{a}
	۱ فروردین March 20	24.57^{a}	27.67^{b}	1139.7^{b}	1.98^{abc}	1821.1^{b}	5511.2^{a}	33.08^{de}
	۱۵ فروردین April 3	23.86^{b}	21.67^{d}	862.9^{d}	1.93^{bcd}	1266.1^{d}	3454.2^{c}	36.65^{a}
	۳۰ فروردین April 18	23.85^{b}	21.67^{d}	862.9^{d}	1.89^{bcd}	1068^{f}	3120.4^{e}	34.23^{abcd}
۸۰ درصد نیاز آبیاری Irrigation requirement 80%	۱۵ اسفند March 5	22.42^{c}	26.33^{bc}	1171.03^{ab}	2.01^{ab}	1779.5^{bc}	4891.9^{b}	36.38^{a}
	۱ فروردین March 20	23.81^{b}	29.67^{a}	1210.3^{a}	2.05^{a}	1891.4^{a}	5607.8^{a}	33.76^{bcde}
	۱۵ فروردین April 3	22.53^{c}	21.33^{d}	813.9^{d}	1.90^{bcd}	1146.7^{e}	3179.2^{de}	36.07^{a}
	۳۰ فروردین April 18	22.56^{c}	21^{d}	826.9^{d}	1.85^{def}	1172.9^{e}	3343.5^{cd}	35.05^{abcd}
۶۰ درصد نیاز آبیاری Irrigation requirement 60%	۱۵ اسفند March 5	14.56^{e}	6^{e}	243.6^{e}	1.80^{efgh}	413.2^{g}	1238.6^{f}	33.4^{cde}
	۱ فروردین March 20	16.44^{d}	4.67^{e}	217.3^{e}	1.82^{efg}	402.6^{g}	1281.9^{f}	31.42^{e}
	۱۵ فروردین April 3	12.47^{f}	2^{f}	91^{f}	1.75^{gh}	128.8^{h}	377.9^{gh}	34.12^{abcd}
	۳۰ فروردین April 18	23.81^{b}	1.67^{f}	40f^{g}	1.73^{gh}	113^{h}	316.2^{h}	35.73^{abc}
۴۰ درصد نیاز آبیاری Irrigation requirement 40%	۱۵ اسفند March 5	10.48^{g}	2^{f}	75^{f}	1.79^{fgh}	148.6^{h}	523.7^{g}	28.65^{f}
	۱ فروردین March 20	9.91^{h}	2^{f}	58.67f^{g}	1.72^{h}	98.2^{h}	395.5^{gh}	24.78^{g}
	۱۵ فروردین April 3	5.35^{i}	1^{f}	4.33^{g}	1.59^{i}	3.84^{i}	73.6^{i}	5.23^{h}
	۳۰ فروردین April 18	5.05^{i}	1^{f}	2^{g}	1.53^{i}	2.24^{i}	63.9^{i}	3.52^{h}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هرستون، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, the means with the same letter are not significantly different based on LSD test.

از طرفی کاهش ارتفاع با تأخیر کاشت احتمالاً با کوتاه‌تر شدن دوره رشد رویشی گیاه نعناع وحشی (*Mentha arvensis* L.) به‌دلیل برخورد با گرما مرتبط است (Rasam *et al*., 2007). دسای و همکاران (Desai *et al*., 2018) گزارش دادند در تاریخ کاشت دیر هنگام و زودهنگام میزان ارتفاع بوته در ۵ واریته مورد بررسی نعناع، کاهش یافت و مناسب‌ترین تاریخ کاشت برای این واریته‌ها یکم نوامبر بود.

تعداد سنبله در بوته

اثر سطوح آبیاری، تاریخ کاشت و برهمکنش آبیاری و تاریخ کاشت بر تعداد سنبله در بوته اسفرزه در سطح آماری یک درصد (p<۰/۰۱) معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین تعداد سنبله در بوته تحت تأثیر برهمکنش سطوح آبیاری و تاریخ کاشت در شرایط ۸۰ درصد نیاز آبی و تاریخ کاشت ۱ فروردین (۲۹/۶۷) به‌دست آمد. اما با کاهش میزان آبیاری (۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی)، تعداد سنبله در بوته در تمامی تاریخ‌های کاشت نسبت به دو سطح آبیاری بیشتر به شدت کاهش یافت و به‌طور میانگین ۸۹/۶ درصد کاهش یافت (جدول ۴).

تعداد سنبله در گیاه یکی از اجزای عملکرد است که تعیین‌کننده پتانسیل عملکرد می‌باشد، زیرا سنبله‌ها در برگیرنده تعداد دانه‌ها بوده و از طرفی تأمین‌کننده مواد فتوسنتزی مورد نیاز دانه‌ها می‌باشند (Koocheki *et al*., 2011). نتایج مطالعه بنایان و همکاران (Bannayan *et al*., 2008) نشان داد که بیشترین و کمترین تعداد سنبله در بوته اسفرزه به‌ترتیب در شاهد و در تیمار قطع آبیاری در مرحله ساقه‌رفتن برای هر دو سال به‌دست آمد. اصغری‌پور و رفیعی (Asgharipour and Rafie, 2010) اظهار داشتند که با افزایش تنش خشکی تعداد سنبله اسفرزه نیز کاهش یافت. همچنین موسوی‌پور و همکاران (Mousapour *et al*., 2017) نیز در مطالعه‌ای دریافتند که تأثیر زمان کاشت بر تعداد سنبله در بوته اسفرزه معنی‌دار بود. تأخیر در تاریخ کاشت باعث افزایش تعداد سنبله در بوته اسفرزه کشت شده در ۲۰ بهمن (۷/۴) در حدود ۸/۸ درصد نسبت به زمان کاشت اول (۶/۸) شد.

تعداد دانه در بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تعداد دانه در بوته تحت تأثیر سطوح آبیاری، تاریخ کاشت و برهمکنش هر دو تیمار در سطح آماری یک درصد (p<۰/۰۱) قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین تعداد دانه در بوته در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی و تاریخ کاشت ۱ فروردین (۱۲۱۰/۳ عدد) به‌دست آمد. همچنین کمترین تعداد دانه در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی و تاریخ‌های کاشت ۱۵ (۴/۳۳ عدد) و ۳۰ فروردین (۲) حاصل شد (جدول ۴).

در بسیاری از گیاهان زراعی، وقوع تنش آبی در زمان گلدهی موجب کاهش تعداد گل‌های بارور و به‌دنبال آن کاهش تعداد دانه می‌گردد و در نتیجه سبب کاهش عملکرد به میزان زیادی می‌گردد (Koocheki, 1997). نجفی (Najafi, 2001) افزایش تعداد دانه در سنبله را با کاهش فواصل آبیاری در اسفرزه و تبریزی (Tabrizi, 2004) در پسیلیوم (*Plantago ovata* L.) گزارش کرد. همچنین نتایج مطالعه موسوی و همکاران (Mosavi *et al*., 2012) نشان داد که تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله و بوته تحت تأثیر تاریخ کاشت در سطح آماری یک درصد قرار گرفت. به گونه‌ای که بیشترین تعداد دانه در سنبله (۴۳/۱۱) در تاریخ ۲۰ اردیبهشت به‌دست‌آمد و با تأخیر در تاریخ کاشت (۱۰ خرداد) تعداد دانه در سنبله ۴۵ درصد کاهش یافت، این در حالی است که بیشترین تعداد دانه در بوته (۱۰۷۵) در تاریخ ۳۰ فروردین به‌دست آمد و با تأخیر در تاریخ کاشت (۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد) تعداد دانه در بوته به‌ترتیب ۳۳/۵ و ۶۱/۲ درصد کاهش یافت. به نظر می‌رسد در شرایط ۱۰۰ درصد گیاه بیشتر به رشد رویشی خود ادامه داده و باعث می‌شود تعداد دانه کمتری تولید کند.

وزن هزاردانه

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که اثر سطوح آبیاری، تاریخ کاشت و برهمکنش آبیاری و تاریخ کاشت بر وزن هزار دانه اسفرزه در سطح آماری یک درصد (p<۰/۰۱) معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد بیشترین وزن هزار دانه در برهمکنش ۸۰ درصد آبیاری به همراه کاشت در تاریخ ۱ فروردین (۲/۰۵ گرم) و کمترین وزن هزار دانه در برهمکنش ۴۰ درصد نیاز آبیاری به همراه کاشت در تاریخ ۱۵ و ۳۰ فروردین (به‌ترتیب ۱/۵۹ و ۱/۵۳ گرم) به‌دست آمد (جدول ۴).

در بسیاری از گونه‌های زراعی، تنش آب در طی دوره پرشدن دانه‌ها را تحت تأثیر قرار داده و سبب چروکیده شدن دانه‌ها می‌گردد (Koocheki *et al*., 2011). علت این امر را می‌توان ناشی از بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش سطح برگ و کاهش فعالیت فتوسنتزی در واکنش به کمبود آب و هم چنین کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه‌ها در تیمارهای تحت تنش آبی دانست (Maleki, 1999). رمرودی و همکاران (Ramroodi *et al*., 2011) نیز که در مطالعه‌ای تأثیر رژیم آبیاری را بر گیاه دارویی اسفرزه بررسی کردند اظهار داشتند که با کاهش تعداد آبیاری، وزن هزار دانه به‌تدریج کاهش یافت. در آزمایش اصغری‌پور و رفیعی (Asgharipour and Rafie, 2010) مشاهده شد که افزایش تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه گیاه اسفرزه نداشت. همچنین گلوی و همکاران

(Galavi *et al*., 2008) نیز در بررسی تأثیر شش تاریخ کاشت (از ۱۸ بهمن تا ۸ فروردین) بر عملکرد و اجزای عملکرد اسفرزه به این نتیجه رسیدند که بین تاریخ کاشت از نظر وزن هزار دانه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. کاناوار و کایاناک (Canavar and Kaynak, 2008) بیان کردند که با تأخیر در تاریخ کاشت از می به ژوئن میزان وزن صد دانه در بادام زمینی (*Arachis hypogaea*) در برخی واریته‌ها کاهش یافت.

عملکرد دانه

عملکرد دانه تحت تأثیر سطوح آبیاری، تاریخ کاشت و برهمکنش هر دو تیمار در سطح آماری یک درصد (p<۰/۰۱) قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی و تاریخ کاشت ۱ فروردین (۱۸۹۱/۴۶کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد و کمترین آن در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی و تاریخ کاشت ۳۰ فروردین (۲/۲۴ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (جدول ۴). در شرایط ۸۰ درصد نیاز آبی با تأخیر در تاریخ کاشت، عملکرد دانه تقریباً ۳۸/۵ درصد کاهش یافت، که نشان‌دهنده‌ی این است با کاهش میزان آب مصرفی عملکرد دانه به شدت کاهش می‌یابد، اما در شرایطی که میزان آب مصرفی در حد بهینه باشد (۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی)، تأخیر در تاریخ کاشت نیز منجر به کاهش عملکرد می‌شود.

بروز تنش کم آبی در مراحل مختلف نموی مخصوصاً مرحلهٔ زایشی به علت کاهش طول دورهٔ فتوسنتزی و انتقال مواد حاصل از فتوسنتز جاری به دانه است که این امر ناشی از پیری زودرس برگ‌ها و کاهش سطح برگ و نیز کاهش سهم انتقال مجدد مواد ذخیره‌شده در ساقه به دانه بوده و موجب کاهش عملکرد به سبب کاهش وزن دانه‌ها می‌شود (Goksoy *et al*., 2004; Bannayan *et al*., 2008). بر اساس نتایج تحقیق کوچکی و همکاران (Koocheki *et al*., 2011) تیمارهای مختلف آبیاری بر عملکرد دانه در اسفرزه و پسیلیوم تأثیر معنی‌داری داشتند. رحیمی و همکاران (Rahimi *et al*., 2013) بیان کردند که با افزایش تنش خشکی و هم‌زمان با آن افزایش میزان نیتروژن میزان تولید بذر در هر گیاه اسفرزه کاهش می‌یابد.

از آن‌جا که تاریخ کاشت بر طول دوره‌های رویشی و زایشی گیاه اثر می‌گذارد و همچنین طول دوره گلدهی و پر شدن دانه ارتباط مثبت بالایی با عملکرد دانه دارد، بنابراین به نظر می‌رسد که با توجه به کاهش فاصله سبزشدن گیاه تا گلدهی و همچنین گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیکی در کشت‌های دیرتر، گیاه قبل از رسیدن به شاخص سطح برگ مناسب وارد فاز زایشی گردیده و کاهش دریافت انرژی نورانی توسط برگ‌ها باعث کاهش عملکرد در تاریخ‌های کاشت دیرتر گردید. بنابراین دستیابی به بالاتربودن عملکرد دانه در تاریخ‌های کاشت زودتر می‌تواند به دلیل طولانی‌تربودن فصل رشد و استفاده از شرایط اقلیمی مناسب اوایل بهار باشد (Mosavi *et al*., 2012). موسوی و همکاران (Mosavi *et al*., 2012) گزارش دادند که کمترین عملکرد دانه در گیاه اسفرزه با تأخیر در کشت این گیاه و در اردیبهشت ماه به‌دست آمد. کریم‌زاده و امیدبیگی (Karimzadeh and Omidbaigi, 2004) نیز کاهش عملکرد دانه اسفرزه را در کشت دیر هنگام و زود هنگام این گیاه گزارش دادند.

عملکرد بیولوژیک

تیمارهای سطوح آبیاری، تاریخ کاشت و برهمکنش هر دو تیمار تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک در سرخس در سطح آماری یک درصد (*p*<۰/۰۱) داشت (جدول ۳). بیشترین عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر برهمکنش سطوح آبیاری و تاریخ کاشت در شرایط ۸۰ درصد نیاز آبی و تاریخ کاشت ۱ فروردین (۵۶۰۷/۸۸ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۴). که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به همراه تاریخ کاشت ۱ فروردین (۵۵۱۱/۲۰ کیلوگرم در هکتار) نداشت. همچنین، کمترین عملکرد بیولوژیک در شرایط ۴۰ درصد نیاز آبی و تاریخ کاشت ۱۵ و ۳۰ فروردین (به‌ترتیب ۷۳/۶۱ و ۶۳/۹۴ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد.

محدودیت آبی در مراحل مختلف نموی موجب کاهش سطح برگ، کاهش جذب نور، فتوسنتز جاری و تولید مواد پرورده می‌شود که منجر به کاهش میزان تجمع مادهٔ خشک می‌گردد (Fereres *et al*., 1998; Bannayan *et al*., 2008). رمرودی و همکاران (Ramroodi *et al*., 2011) نیز نشان دادند که تأثیر رژیم آبیاری و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد بیولوژیک و دانه معنی‌دار بود و با کاهش تعداد آبیاری عملکرد بیولوژیک اسفرزه به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک از رژیم آبیاری کامل و کمترین آن از تیمار قطع یک نوبت آبیاری بعد از گلدهی به‌دست آمد که در مقایسه با رژیم آبیاری کامل حدود ۱۱/۵۰ درصد کاهش داشت. موسوی و همکاران (Mosavi *et al*., 2012) نیز اظهار داشتند که مساعد بودن شرایط محیطی به‌ویژه نور و درجه حرارت و طول دوره رشد بیشتر در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین باعث شد که گیاه از این شرایط بهتر استفاده نموده و تولید مواد فتوسنتزی را افزایش داده و در نهایت عملکرد بیولوژیک افزایش یابد. با کوتاه‌شدن دوره رشد گیاهان عملکرد بیولوژیکی و اقتصادی کمتری تولید می‌کنند (Koocheki *et al*., 2011). عزیزی و ماهرخ (Azizi and Mahrokh, 2012) نیز در بررسی تأثیر شش تاریخ کاشت (از ۱ خرداد تا ۱ تیر) بر عملکرد ذرت شیرین به این نتیجه رسیدند که بین تاریخ کاشت از نظر عملکرد بیولوژیک اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

شاخص برداشت

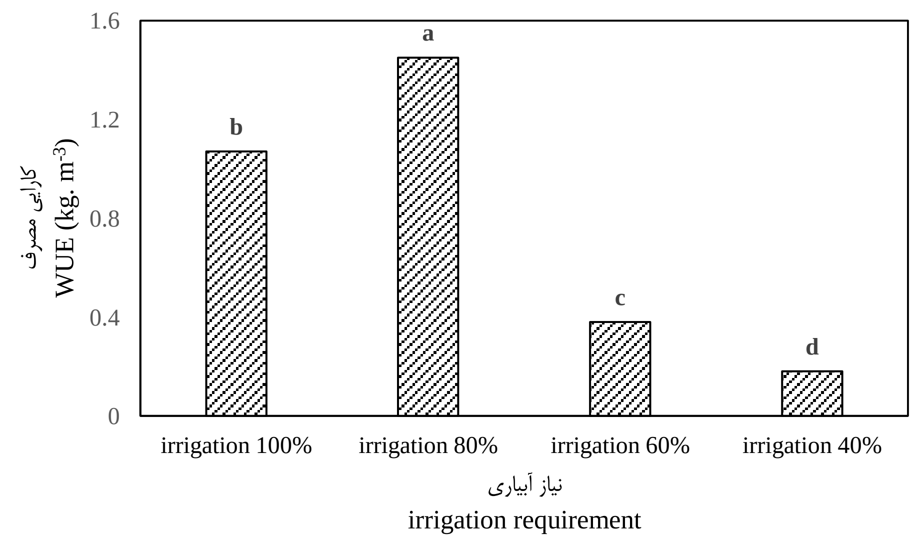
شاخص برداشت تحت تأثیر سطوح آبیاری، تاریخ کاشت و برهمکنش هر دو تیمار در سطح آماری یک درصد (p<۰/۰۱) قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین شاخص برداشت در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تاریخ کاشت ۱۵ فروردین (۳۶/۶۵ درصد) بهدست آمد و کمترین آن در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی و تاریخ کاشت ۳۰ فروردین حاصل شد (جدول ۴). با کاهش میزان آب مصرفی شاخص برداشت کاهش می‌یابد، اما در شرایطی که میزان آب مصرفی کمتر از حد بهینه باشد (۴۰ درصد نیاز آبی)، تأخیر در تاریخ کاشت نیز منجر به کاهش شاخص برداشت شد.

به نظر می‌رسد کاهش معنی‌دار شاخص برداشت با تأخیر در کاشت می‌تواند مربوط به مصادف‌شدن زمان گلدهی و پرشدن دانه با دماهای بالا در منطقه و تأثیر منفی آن با فاز زایشی گیاه باشد که کاهش بیشتر عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک و در نتیجه کاهش شاخص برداشت را در پی داشته است. این نتایج با گزارش‌های اصغری پورچمن (Asghari Porchaman, 2003) مطابقت داشت. همچنین در آزمایش چاندرا و همکاران (Chandra *et al*., 2006) نشان داده شد که با تأخیر در کشت اسفرزه میزان شاخص برداشت نیز به میزان قابل‌توجهی کاهش یافت.

کارایی مصرف آب

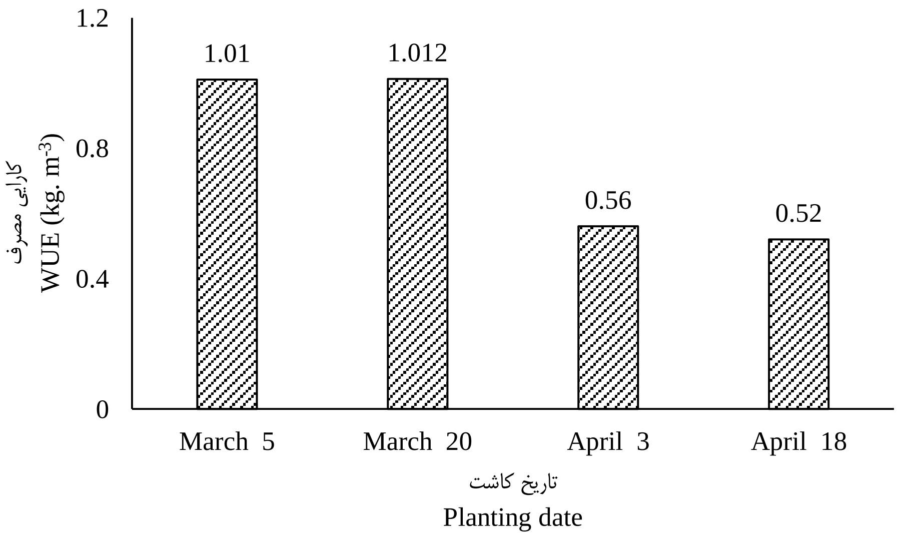
همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود کارایی مصرف آب برای عملکرد دانه تحت تاثیر اثرات اصلی سطوح آبیاری و تاریخ کاشت در سطح آماری یک درصد (p <۰/۰۱) معنی‌دار بود ولی اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین صفات نشان داد بیشترین میزان کارایی مصرف آب در سطح آبیاری ۸۰ درصد به‌دست آمد و نسبت به کمترین میزان این شاخص که در تیمار ۴۰ درصد سطح آبیاری به‌دست آمد به میزان ۷ برابر بیشتر بود (شکل ۴). همچنین نتایج نشان داد بیشترین میزان کارایی مصرف آب برای تاریخ‌های مختلف کاشت ۱۵ اسفند و ۱ فروردین به میزان ۱/۰۱ کیلوگرم در متر مکعب گزارش شد و کمترین میزان آن در تاریخ ۳۰ فروردین به مقدار ۰/۵۲ کیلوگرم در متر مکعب حاصل شد (شکل ۵).

نتایج تحقیق توکلی (Tavakkoli, 2013) بر روی گیاه دارویی زنیان نشان داد که اثر تاریخ کاشت زنیان در سطح احتمال یک درصد بر کارایی مصرف آب معنی‌دار بود که با نتیجه به‌دست آمده در این پژوهش همخوانی داشت. در مناطق خشک و نیمه خشک، تاریخ کاشت زودتر برای کشت اسفرزه به دلیل دریافت باران‌های زمستانه، باعث می‌شود که تاریخ کاشت زودتر نسبت به تاخیر در کاشت اثر مهمی در عملکرد دانه و در نتیجه کارایی مصرف آب در این مناطق داشته باشد. همین امر باعث شده است که در پژوهش حاضر اثر تاریخ کاشت بر کارایی مصرف آب معنی‌دار گردد. نتایج مطالعات صنوبر و همکاران (Sanobar *et al*., 2011) نشان داد که کارایی مصرف آب در تیمارهای آبیاری که با تنش رطوبتی بیش‌تری مواجه بودند، کمتر بود. این نتیجه با یافته‌های به‌دست آمده در این پژوهش مطابقت داشت.



شکل ٤- کارایی مصرف آب تحت تأثیر سطوح آبیاری

Figure 4- Water use efficiency affected by irrigation levels



شکل ۵- کارایی مصرف آب تحت تأثیر سطوح آبیاری
Figure 5- Water use efficiency under the influence of planting date

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که اعمال کم آبیاری باعث کاهش معنی دار خصوصیات رشدی، عملکردی و همچنین کارایی مصرف آب اسفرزه گردید. به طوری که بیشترین عملکرد دانه، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب اسفرزه در منطقه سرخس زمانی اتفاق می‌افتد که ۸۰ درصد نیاز آبی تامین گردد. همچنین با توجه به یافته‌های این پژوهش می‌توان گفت، اثر تاریخ کاشت بر عملکرد دانه، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب معنی‌دار بود. به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که تأخیر در کاشت می‌تواند مراحل نموی تعیین‌کننده اجزای عملکرد را در معرض عوامل نامساعد محیطی قرار داده و قابلیت تولید اقتصادی گیاه اسفرزه را کاهش دهد. با توجه به نتایج حاصله، بهترین تاریخ کاشت و سطح آبیاری جهت نیل به حداکثر عملکرد و حفظ منابع آبی در منطقه سرخس به‌ترتیب ۱ فروردین و ۸۰ درصد نیاز آبی بود.

References

1. Akbari, S., Kafi, M., and Rezvan Beidokhti, S. 2017. Effect of drought stress on growth and morphological characteristics of two garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes in different planting densities. Journal of Agroecology 9 (2): 559-574. (in Persian with English abstract).
2. Alizadeh, A., and Kamali, Gh. 2007. Water needs of plants in Iran. Astan Quds Razavi Publications. Mashhad. (in Persian with English abstract).
3. Asghari Porchaman, M. 2003. Effects of sowing date and amount of seeds per unit area on morphological characteristics and quality of isabgol medicinal plant. MSc. Thesis, Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
4. Asgharipour, M. R., and Rafie, M. 2010. Intercropping of isabgol (*Plantago ovata* L.) and lentil as influenced by drought stress. American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture 4: 341-348.
5. Azizi, F., and Mahrokh, A. 2012. Plant density effect in different planting dates on growth indices, yield and yield components of sweet corn cultivar KSC403SU. Iranian Journal of Field Crops Research 10 (4): 789-795. (in Persian with English abstract).
6. Bannayan, M., Nadjafi, F., Azizi, M., Tabrizi, L., and Rastgoo, M. 2008. Yield and seed quality of *Plantago ovata* and *Nigella sativa* under different irrigation treatments. Indian Journal of Crops Production 27: 11-16.
7. Basak, B. 2017. Yield and quality of isabgol (*Plantago ovata* Forsk) as influenced by micronutrient application in soil. Proceedings of the national academy of sciences, India Section B: Biological Sciences 87: 671-678.
8. Behzadi, M., Vakili Sharbabak, M. A., and Kadoori, M. R. 2015. Investigation of the most suitable planting date of *Hibiscus sabdariffa* sour tea for use in urban green space of Kerman. The First National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources. (in Persian with English abstract).
9. Bindi, M., and Olesen, J. 2011. The responses of agriculture in Europe to climate change. Regional Environmental

Change Journal 11: 151-158.
10. Canavar, O., and Kaynak, M. A. 2008. Effect of different planting dates on yield and yield components of peanut (*Arachis hypogaea* L.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry 32: 521-528.
11. Chandra, R., Kumar, D., Jha, B. K., Gajbhiye, N. A., and Aishwath, O. P. 2006. Influence of sowing time on growth and yield of *Plantago ovata* Forsk. under middle Gujarat conditions. Indian Journal of Horticulture 63 (4): 424-427.
12. Desai, S. H., Pushpa, T. N., Srikantaprasad, D., Kantharaju, V., Biradar, I. B., Shalini, R. M., and Asha, M. R. 2018. Effect of dates of planting on growth, yield and quality of Menthol mint (*Mentha arvensis* L.) cultivars planted during rabi season. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 7 (9): 625-633.
13. English, M. J., and James, L. 1990. Deficit irrigation. II: observation in Colombia basin. ASCE, Journal of Irrigation and Drain Engineering 116: 413-426.
14. Fereres, E., Orgaz, F., and Villalobos, F. L. 1998. Crop productivity in water-limited environments. Proceedings of the Fifth ESA Congress, Nitra, the Slovak Republic.
15. Galavi, M., Ramroodi, M., and Mansori, S. 2008. Investigation of the effect of planting date on yield, yield components and quality of *Plantago ovata* in Sistan region. Research and Construction 20 (4): 135-140. (in Persian with English abstract).
16. Ganpat S., Ishwar, S., and Bhati, D. S. 1992. Response of blond psyllium (*Plantago ovata*) to irrigation and split application of nitrogen. Indian Journal of Agronomy 37: 880-881.
17. Goksoy, A. T., Demir, A. O., Turan, Z. M., and Dagustu, N. 2004. Responses of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. Field Crops Research 87: 167-178.
18. Heldwein, A., Loose, L., Lucas, D., Hinnah, F., Bortoluzzi, M., and Maldaner, I. 2014. Yield and growth characteristics of sunflower sown from August to February in Santa Maria, RS. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 18 (9): 908-913.
19. Karimzadeh, G., and Omidbaigi, R. 2004. Growth and seed characteristics of isabgol (*Plantago ovata* Forsk) as influenced by some environmental factors. Journal of Agricultural Science and Technology 6: 103-110.
20. Koocheki, A. 1997. Agriculture and Breeding in Dryland Agriculture. Mashhad University Jahad Publications, Mashhad. (in Persian with English abstract).
21. Koocheki, A., and Sarmadneya, Gh. H. 2014. Plant Physiology. Mashhad University Jahad Publications, Mashhad. (in Persian with English abstract).
22. Koocheki, A., Mokhtari, V., Taherabadi, Sh., and Kalantari, S. 2011. The effect of water stress on yield, yield components and quality characteristics of *Plantago Ovata* and *Plantago Psyillium*. Journal of Water and Soil 25 (3): 565-664. (in Persian with English abstract).
23. Lotfi, A., Abbasali Vahabi, S., Ghanbari, A., and Haeidari, M. 2009. The effect of deficit irrigation and manure on quantity and quality traits of *plantago ovata* Forssk. in Sistan region. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 24 (4): 506-518. (in Persian with English abstract).
24. Maleki, A. 1999. Effect of irrigation intervals and nitrogen division on yield and yield components of spring rapeseed (*Brassica napus*). MSc. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (in Persian with English abstract).
25. Moosavi, Gh. R., Sadegzadeh Hemayati, S., Seghatoleslami, M. J., and Ansarinia, E. 2012. Effect of planting date and plant density on morphological traits, yield and water use efficiency of *Plantago ovate*. Journal of Medicinal Plants Research 6 (10): 1873-1878.
26. Mosapour. H., A. Ghanbari, A. R., Sirousmehr, A. R., and Asgharipour, M. R. 2015. Effect of sowing time on seed yield, advantage and competitive indices in ajwain (*Carum copticum* L.) and isabgol (*Plantago ovate* Forsk.) intercropping. Iranian Journal of Crop Sciences 17 (2): 139-152. (in Persian with English abstract).
27. Mosavi, S. G. R., Segatoleslami, M. J., and Pooyan, M. 2012. Effect of planting date and plant density on yield and seed yield components of *Plantago ovata* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27 (4): 681-699. (in Persian with English abstract).
28. Mousapour, H., Ghanbari, A., and Asghari pour, M. R. 2017. Effect of sowing date on yield, yield components, secondary metabolites content and weed control in ajwain and isabgol intercropping. Journal of Crop Improvement 18 (4): 835-850. (in Persian with English abstract).
29. Naderi, D., and Mahmoudi, E. 2017. Assessment of some chemical and qualitative characteristics of Marigold as influenced by different culture media. Journal of Crop Improvement 18 (4): 861-870. (in Persian with English abstract).
30. Najafi, F. 2001. The effect of irrigation intervals and plant density on the quantity and quality of Isabgol (*Plantago ovata*). MSc. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
31. Ogle, S. M., Olander, L., Wollenberg, L., Rosenstock, T., Tubiello, F., Paustian, K., Buendia, L., Nihart, A., and Smith, P. 2014. Reducing greenhouse gas emissions and adapting agricultural management for climate change in developing countries: providing the basis for action. Global Change Biology 20: 1-6.
32. Pouryousef, M., Mazaheri, D., Chaiechi, M. R, Rahimi, A., and Tavakoli, A. 2010. Effect of different soil

fertilizing treatments on some of agro morphological traits and mucilage of Isabgol (*Plantago ovata* Forsk). Electronic Journal of Crop Production 3 (2): 139-213. (in Persian with English abstract).
33. Pouryousef, M., Mazaheri, D., Yousefi, A. R., Rahimi, A., and Tavakoli, A. 2014. Evaluation of grain qualitative traits of Isabgol (*Plantago ovata* Forsk.) under limited irrigation regimes and different fertilizing treatments. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 30 (3): 414-424. (in Persian with English abstract).
34. Rahimi, A., Jahansoz, M. R., Rahimian Mashhadiz, H. R., Pouryosef, M., and Roosta, H. R. 2010. Effect of drought and plant density on yield and phonological stages of Isabgol and French psyllium with using growth degree days. Electronic Journal of Crop Production 2 (1): 51-74. (in Persian with English abstract).
35. Rahimi, A., Sayadi, F., and Dashti, H. 2013. Effects of water and nitrogen supply on growth, water-use efficiency and mucilage yield of isabgol (*Plantago ovata* Forsk). Journal of Soil Science and Plant Nutrition 13 (2): 341-354.
36. Ramroodi, M., Kaeikhzhaleh, M., Galavi, M., Saghatoleslami, M. J., and Baradarn, R. 2011. The effect of foliar application of micronutrients and irrigation regimes on the quantitative and qualitative yield of isabgol medicinal plant (*Plantago ovata* forsk). Journal of Agroecology 3 (2): 219-226. (in Persian with English abstract).
37. Rasam, Gh., Gholami, M. R., Asadi, Gh., and Dadkhah, A. 2007. Extinction of plant species, a serious threat to biodiversity in the ecosystem of natural systems (Case study, medicinal flora of Shirvan region). The Second National Conference on Ecological Agriculture of Iran, October 16-16, Gorgan. (in Persian with English abstract).
38. Rodriguez, L. 2006. Drought and drought stress on south texas Landscape plants. san. Antonio Express.
39. Roumani, A., Biabani, A., Rahemi Karizaki, A., Gholamalipour Alamdari, E., and Gholizadeh, A. 2020. Effects of salicylic acid and spermine exogenous application on functional and physiological characteristics of isabgol (*Plantago ovata* Forssk.) under cutoff irrigation. Journal of Plant Ecophysiology 12 (41): 53-67. (in Persian with English abstract).
40. Sanobar, A., Dehghani, F., and Tabatabai, S. A. 2011. The effect of irrigation cycle on yield, water use efficiency and some quality characteristics of bread wheat cultivars. Journal of Water Research in Agriculture 24 (1): 31-40.
41. Seghatoleslami, M. J., Mosavi, S. G., and Barzegaran, T. 2013. Effect of irrigation levels and planting date on yield and water use efficiency of *Hibiscus sabdariffa* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 29 (1): 144-156. (in Persian with English abstract).
42. Silva, H., Arriagada, C., Campos-Saez, S., Baginsky, C., Castellaro-Galdames, G., and Morales-Salinas, L. 2018. Effect of sowing date and water availability on growth of plants of chia (*Salvia hispanica* L.) established in Chile. PLOS ONE 13 (9): 1-20.
43. Tabrizi, L. 2004. Effect of moisture stress and animal fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of *Plantago ovata* and *Plantago psyllium*. MSc. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
44. Tavakkoli, A. R. 2013. Effects of sowing date and limited irrigation on yield and yield components of five rainfed wheat varieties in Maragheh region. Journal of Crop Production and Processing 2 (6): 87-97 (in Persian with English abstract).
45. Thakur, A., Upadhyaya, S. D., Upadhyay, A., and Nayak, P. S. 2012. Responses of moisture stress on growth, yield and quality of isabgol (*Plantago ovata* Forsk). Journal of Agricultural Technology 8 (2): 563-570.
46. Weryszko-Chmielewska, E., Matysik-Woźniak, A., Sulborska, A., and Rejdak, R. 2012. Commercially important properties of plants of the genus *Plantago*. Acta Agrobotanica 65 (1): 11-20.
47. Yazdan Panah, M. R. 2015. The effect of different levels of irrigation water, planting date and fertilizer management on yield and yield components of sour tea in Minab conditions. PhD Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).

Effect of Planting Dates and Irrigation Level on Growth Criteria, Yield and Yield Components of Isabgol (*Plantago ovata* L.) under the Weather Conditions of Sarakhs

M. R. Roostanezhad[1], M. Bannayane Aval[2*], P. Rezvani Moghaddam[2], Gh. A. Gazanchiyan[3]

Received: 28-11-2020
Accepted: 25-05-2021

Introduction

Proper planting date and irrigation rate are the most important factors for better use of rainfall and soil moisture and thus increase crop yield. Production of medicinal and aromatic plants and the demand for natural products in the world is increasing, so that the twentieth century has been named as a return to nature and the century of using herbal medicines. Proper growth and development of medicinal plants in agricultural conditions requires knowledge of the ecological characteristics of these plants, careful study of planting techniques and the use of agricultural inputs, especially irrigation, fertilizers, suitable planting and harvesting times and their management. Such factors also affect the amount of secondary metabolites in medicinal plants. The aim of this study was to investigate the effect of four planting dates and four irrigation rates on the yield traits of isabgol in Sarakhs.

Material and Methods

In order to investigate the effect of irrigation levels and planting dates on the growth characteristics and yield of isabgol (*Plantago Ovata* L.) as a medicinal plant, a field experiment was performed in Research station, Sarakhs, Khorasan Razavi province during growth season 2015-16. This experiment was performed as strip plots based on a randomized complete block design with three replications. Irrigation treatments at four levels of 40, 60, 80, and 100% of the water requirements were placed in horizontal plots and four planting dates were on March 5, 2016, March 20, 2016, April 3, 2016 and April 18, 2016 in vertical plots. Irrigation was applied as furrow system at every 7 days. Irrigation treatments were applied at the time of complete establishment of seedlings in 3-4 leaf stage and continued until physiological maturity stage. The amount of irrigation water in each irrigation turn was calculated by AGWAT software. Measured traits included leaf area index, crop growth rate, dry matter accumulation, plant height, number of spikes per plant, number of seeds per plant, 1000-seed weight, grain yield, biological yield and harvest index.

Results and Discussion

The results of growth indicators showed that the maximum leaf area index (3.4 and 3.3), the crop growth rate (22.12 and 22.18 g m^{-2} d^{-1}) and the accumulation of dry matter (444.9 and 445.4 g m^{-2}) were obtained in the treatments of 100% and 80% of the water requirements, respectively. Also, the maximum leaf area index and crop growth rate were observed in the treatments of April 18 and April 3 (1.86 and 2). The treatments of March 20 and 5 also had the highest crop growth rate (14 and14 g m^{-2} d^{-1}) and dry matter accumulation (270 and 261.3 g m^{-2}). The results also showed that the interaction effects on plant height, number of seeds per plant, 1000-seed weight, grain yield, biological yield, and harvest index were significant at the 1% level of probability. Maximum plant height (24.57 cm) was obtained in the 100% of the water requirement and planting date of March 20 treatment. The highest number of seeds per plant (1210.36), grain yield (1891.4 kg), biological yield (5607.8 kg), number of spikes per plant (29.67) and 1000-seed weight (2.05 g) were obtained in the treatments of 80% of water requirement and planting date on March 20.The highest harvest index (36.4%) belonged to the treatment of 100% of water requirement and planting date on March 5.

Conclusions

In general, it can be concluded that different characteristics of isabgol plant were affected by planting date and irrigation water amount so that with a delay in planting date and also reducing the amount of irrigation water, growth and yield characteristics were significantly reduced. As a result, deficit irrigation at 80% of the

1- PhD Student of Agroecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
3- Associate Professor of Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: banayan@um.ac.ir)

crop water requirement and planting date of March 20 were more effective in saving irrigation water along with a good yield of the isabgol plant compared to 100% of the crop water requirement treatment in the study area.

Keywords: Biological yield, Crop growth rate, Harvest index, Number of spikes per plant, Water requirement